

家庭单相感应式电能表实测

—对上海2011年1月电费翻番原因的探究

田凡 09300190048

李恒 09300290008

2011/6/20



Outline

1 前期工作回顾

2 实测的方法与结果

3 实测中的细节问题

4 电表的其他

5 项目总结与感想

Outline

1 前期工作回顾

2 实测的方法与结果

3 实测中的细节问题

4 电表的其他

5 项目总结与感想

实测接线方法



电压线圈

电流线圈

挂钩

火线

零线

用

用户 n

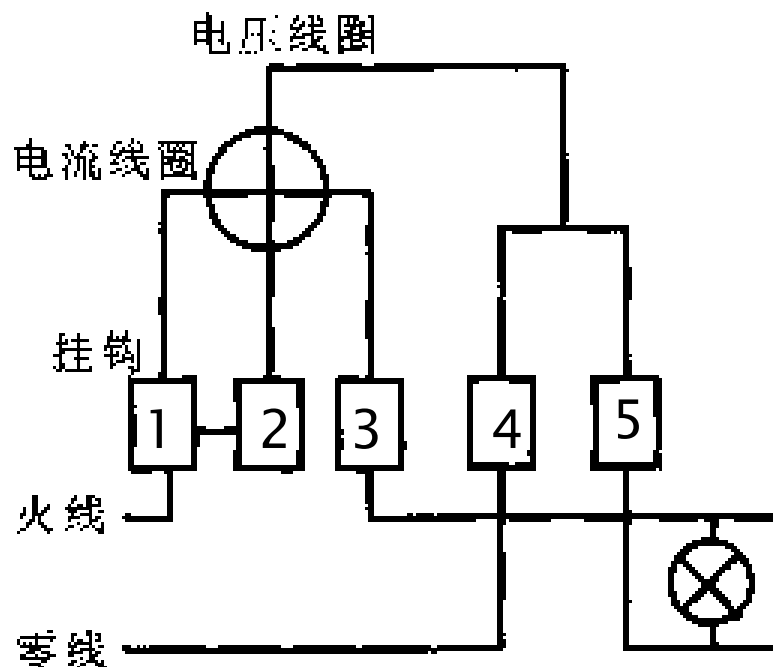
▶ 简化——我们只需使用3、5接口

接线方式的修正

- ▶ **错误的想法:** 简化——我们只需使用3、5接口
- ▶ 发现问题: 40W白炽灯和1800W取暖器转速几乎一致 + 在某些位置表盘不转

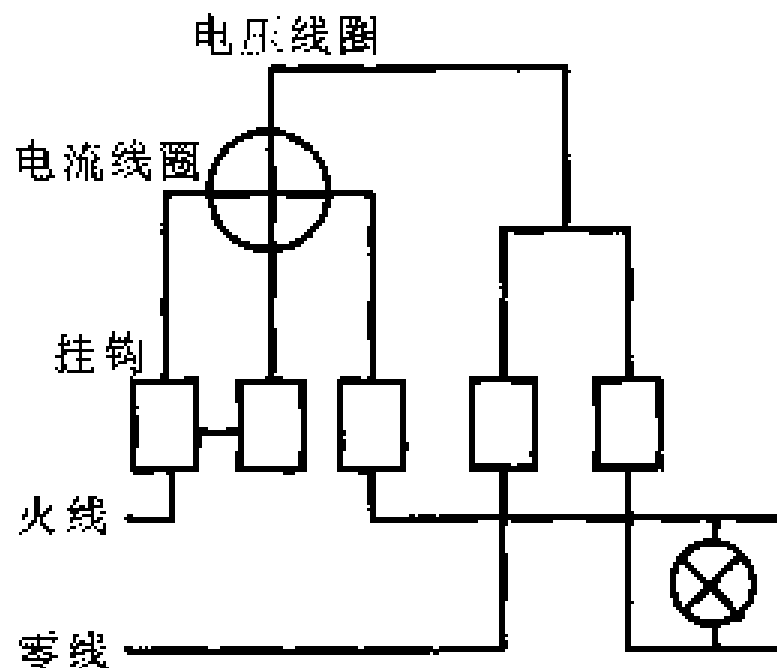
▶ 提出疑问: 电表是串联还是并联入电路?

▶ 结论: 必须既有串联
也有并联!

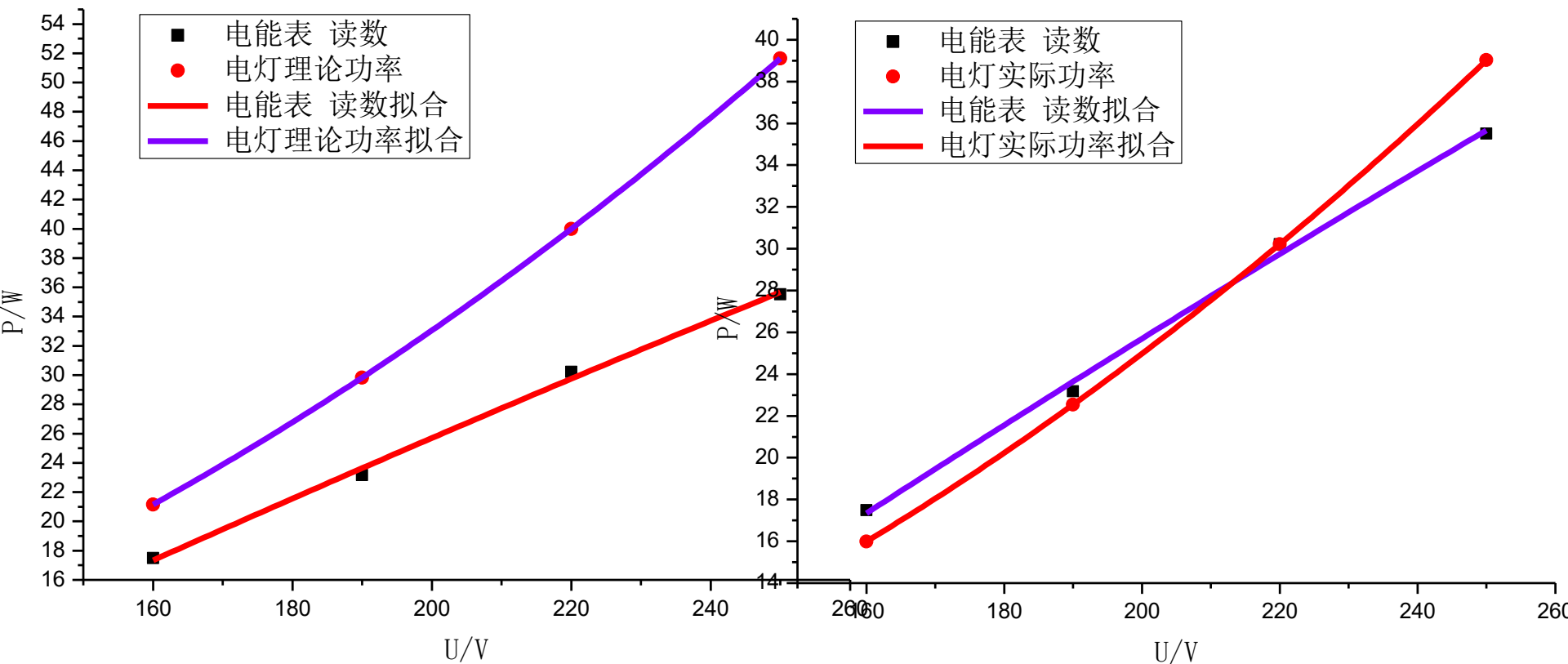


接线方式的修正

- ▶ 正确的接线——4线
- ▶ 电压线圈与负载并联
- ▶ 电源-2-负载-4
- ▶ 电流线圈与负载串联
- ▶ 电源-1-3-负载-5（同4）



实测的初步结果



▶ $R^2 = 0.99216$

Outline

1 前期工作回顾

2 实测的方法与结果

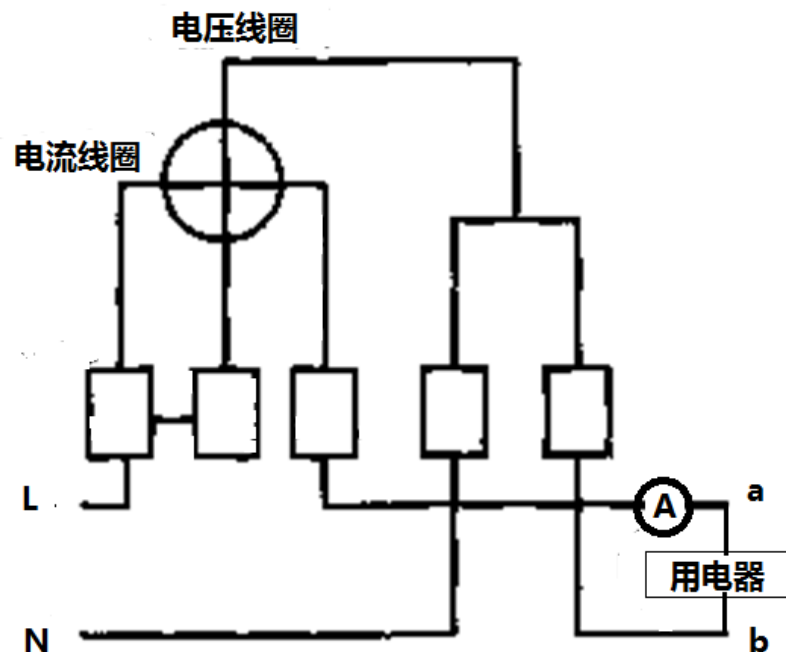
3 实测中的细节问题

4 电表的其他

5 项目总结与感想

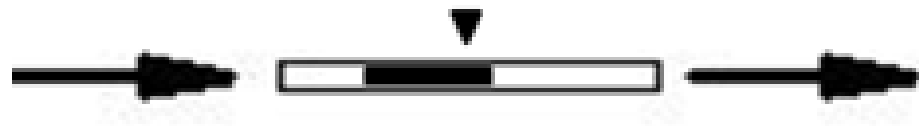
实测方法

- ▶ 电源电压、电表电压、用电器电压
- ▶ 电流——功率 P
- ▶ 比较实际功率 P 和电能表计量值



实测方法

- ▶ 记录黑色标记转动n圈所用的时间t(s)



- ▶ 换算：600r/kwh

$$P = 3.6 \times 10^6 \times \frac{1}{600} \times \frac{n}{t}$$

实测结果——取暖器（1800W）

用电器电压	电路电流	实际功率	电表电压	功率测量值	测量与实际差值	相对偏差
$U_1(V)$	$I(A)$	$P_{\text{实际}}(W)$	$U_2(V)$	$P_{\text{测量}}(W)$	$\Delta P = P_{\text{测量}} - P_{\text{实际}}(W)$	$\eta = \Delta P / P_{\text{实际}}$
237.5	6.68	1603.9	240.1	1681.6	77.7	4.85%
229.8	6.79	1581.4	232.9	1663.9	82.5	5.22%
221.4	7.04	1577.7	224.1	1654.0	76.3	4.84%
211.0	7.28	1554.3	213.5	1626.6	72.3	4.65%
200.4	7.51	1519.3	202.3	1589.0	69.7	4.59%
180.6	7.80	1430.5	183.4	1484.9	54.4	3.80%

^[1] 该实际功率值的是用电器功率与用电器电表之间导线消耗功率之总和

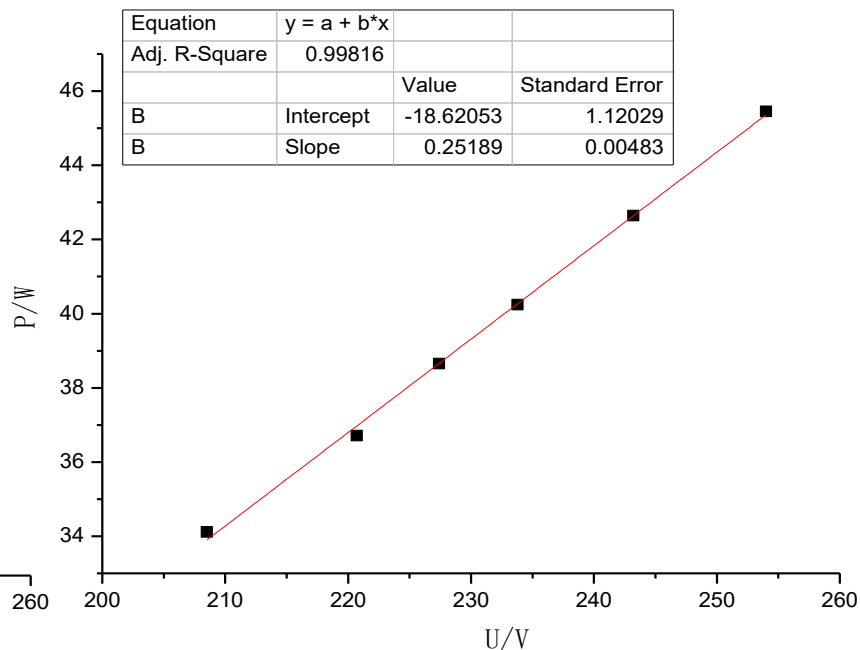
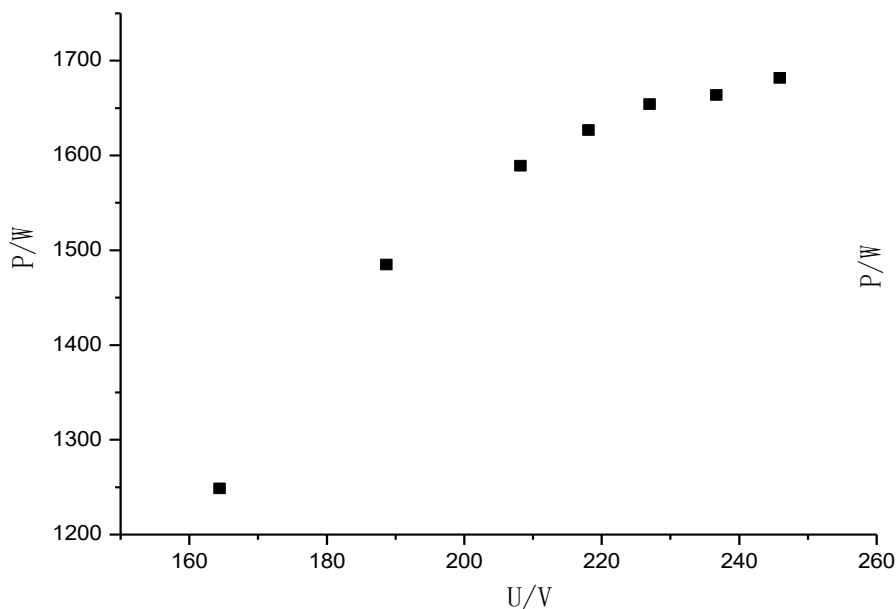
实测结果——电灯（40W）

用电器电压	电路电流	实际功率	电表电压	功率测量值	测量与实际差值	相对偏差
$U_1(V)$	$I(mA)$	$P_{\text{实际}}(W)$	$U_2(V)$	$P_{\text{测量}}(W)$	$\Delta P = P_{\text{测量}} - P_{\text{实际}}(W)$	$\eta = \Delta P / P_{\text{实际}}$
250.0	184.9	46.5	251.7	45.45	-1.09	-2.33%
240.0	179.9	43.4	241.0	42.64	-0.72	-1.65%
231.1	176.7	41.0	232.0	40.24	-0.75	-1.84%
224.2	174.2	39.2	225.3	38.65	-0.60	-1.53%
218.0	171.2	37.5	219.0	36.71	-0.78	-2.08%
206.5	166.9	34.6	207.4	34.11	-0.50	-1.46%

^[1] 该实际功率值的是用电器功率与用电器电表之间导线消耗功率之总和

实测结果汇总

对取暖器和白炽灯分别做 实际功率-电表电压 的关系图：



实测结论

- ▶ 小功率时功率-电压曲线接近线性；大功率时增长率小于线性。
- ▶ 小功率时电表少算钱，大功率时电表多算钱。但是相差都不超过5%。少算钱的原因可能和感应电表的启动电流有关系。
- ▶ 从以上结果来看，尽管处在大的电压波动范围下，单相电能表测量的用电器功率与用电器实际功率的误差在 $\pm 5\%$ 以内，符合计量标准。
- ▶ 因此我们可以得到初步的结论，电表在偏离额定电压条件下工作的计量仍然是有效的。

实测结果——取暖器1档（900W）

- ▶ 分析:
- ▶ -2% 到 5%。大功率、小功率之分？

前述取暖器开到1档，220V下额定功率约为900W，进行实测：

电源电压	电表电压	用电器电压	电路电流	实际功率	转动4圈t1	转动4圈t2	平均值	电表读数	差值	相对误差
208.8	204.6	200.9	4.46	912.516	25.23	25.23	25.23	951.249	38.7325	4.24%
217.6	213.3	211.6	4.33	923.589	24.61	24.59	24.6	975.610	52.0208	5.63%
227.8	223.8	220.8	4.22	944.436	24.34	24.2	24.27	988.875	44.4392	4.71%
236.7	235.1	229.5	4.07	956.857	24.15	24.07	24.11	995.438	38.5806	4.03%
246.9	241.2	239.2	3.94	950.328	23.82	23.81	23.815	1007.77	57.4402	6.04%

实测结论（续）

- ▶ 对于家用单相电表而言900W以上的用电器便算作大功率了。
 - ▶ 在大功率下正偏差保持5%左右。
 - ▶ 具体偏差情况需要更精确的测量才能下结论。
 - ▶ 如果偏差存在，那么对于实际家庭而言，总功率一般都在900W以上，会始终存在5%的多收费。
-

Outline

1 前期工作回顾

2 实测的方法与结果

3 实测中的细节问题

4 电表的其他

5 项目总结与感想

导线上的损耗

电源电压	电源到电表损耗	电表到用电器损耗	总损耗	损耗百分比
245.9	38.74	17.37	56.11	3.42
236.7	25.80	21.05	46.85	2.92
227.0	20.42	19.01	39.42	2.47
218.1	33.49	18.20	51.69	3.26
208.2	44.31	14.27	58.58	3.75
188.7	41.34	21.84	63.18	4.29
164.4	47.75	15.16	62.91	5.05

1800W

- ▶ 试估算导线的电阻，以取暖器开到最大档为例：
- ▶ 估计电线总长度为2m，半径为0.1mm，铜的电阻率为 $0.0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

故：

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}) \times 2(\text{m}) / 0.0314(\text{mm}^2) = 1.1\Omega$$

- ▶ 在取暖器开到最大档的实测时电流在7A左右，由此估算损耗为：

$$P = I^2 R \approx 54W$$

符合实测结果。

取暖器是否纯电阻

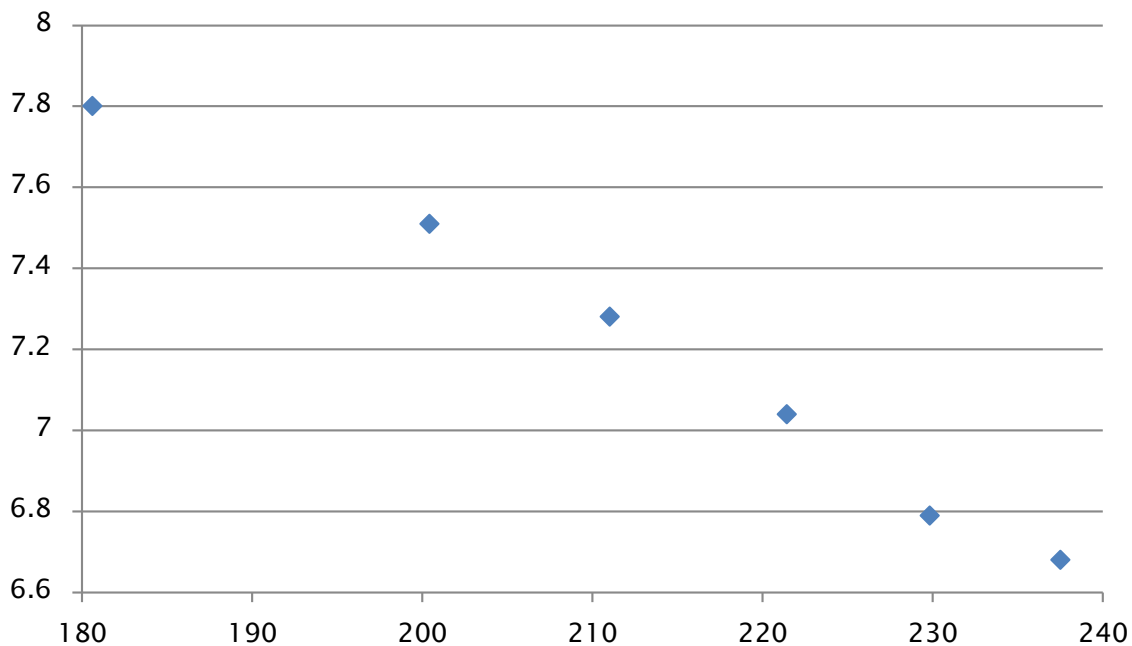
- ▶ 用万用表粗测一下不同档位，不同时刻的电阻
- ▶ 估算一下额定电压下的功率

	电阻R/ Ω	P/W	电阻R'/ Ω	电阻R''/ Ω
II/最大 (1800W)	102.4	472.66	48.0	94.5
I/最大 (900W)	179.6	269.44	87.7	169.2

^[2]电阻R'和R''是加热工作一段时间停止后的电阻粗测值

电流随电压变化

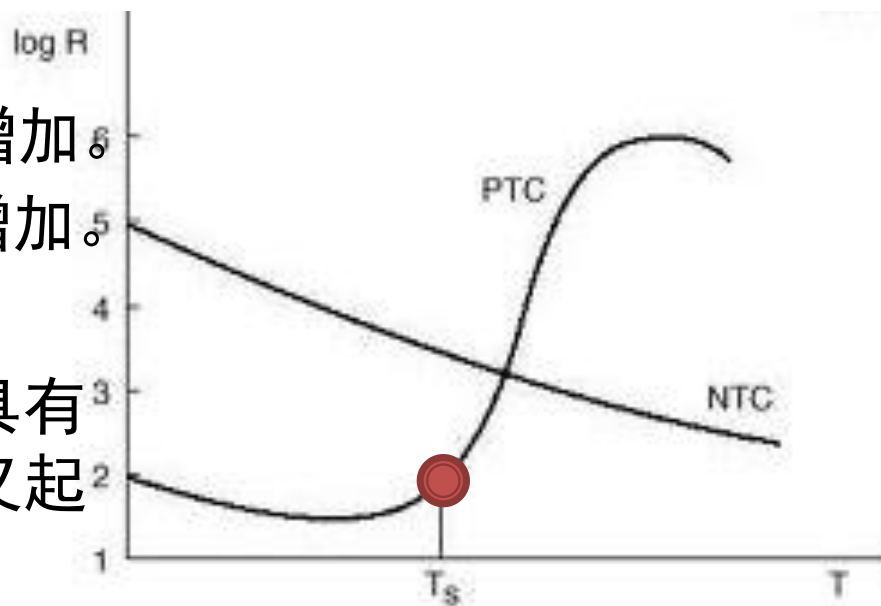
用电器电压	电路电流
$U_1(V)$	$I(A)$
237.5	6.68
229.8	6.79
221.4	7.04
211.0	7.28
200.4	7.51
180.6	7.80



电流峰值为7.83A,对应电压183.0V

取暖器的性质——PTC

- ▶ 电流通过元件后引起温度升高，
- ▶ 温度超过居里点， R 增加，限制 I 增加。
- ▶ I 下降使元件 T 降低， R 减小又使 I 增加。
- ▶ 元件温度升高，周而复始，因此具有使温度保持在特定范围的功能，又起到开关作用。



现象的解释：

- 纯电阻
- 电流变化



Outline

1 前期工作回顾

2 实测的方法与结果

3 实测中的细节问题

4 电表的其他

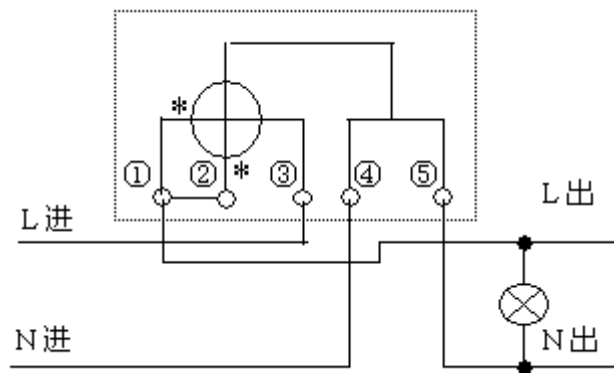
5 项目总结与感想



窃电的简单方法

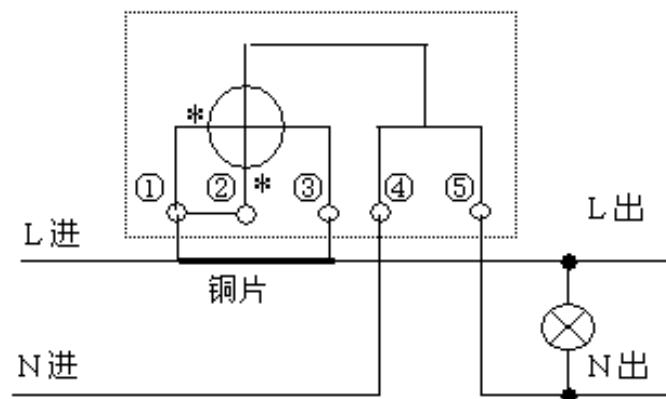
▶ 电学方法

- 反接
- 导线直接接在电流线圈的出入两端
- 辅助变压器



▶ 机械方法:

- 增大阻力（卡转盘）
- 齿轮比



Outline

- 1 前期工作回顾
- 2 实测的方法与结果
- 3 实测中的细节问题
- 4 电表的其他
- 5 项目总结与感想

项目的总结与感想

- ▶ 拆解了电表了解其原理，并对其中一只复原
- ▶ 探索了单相感应式电表原理
- ▶ 电表在实验室条件下正常工作（**纠错**）
- ▶ 设计了实测的电路和方案、搭建了实测的平台
- ▶ 通过实测，验证了电表计量的有效性
- ▶ 对实验过程中的小细节进行了分析（U-I, PTC）

实验感想

- ▶ 选题
- ▶ 理论与实际应用的差距、工科VS理科
- ▶ 工具使用+机械加工
- ▶ 如何摸索思路、如何找到正确的“答案”
- ▶ 遇到问题和错误的解决方法
- ▶ 合作
- ▶ 感谢

Thank

YOU!

